

PROPRIEDADES FÍSICAS E ELETROQUÍMICAS DE UM LATOSSOLO BRUNO AFETADAS PELA CALAGEM⁽¹⁾

J. A. ALBUQUERQUE⁽²⁾, C. BAYER⁽²⁾,
P. R. ERNANI⁽³⁾ & E. C. FONTANA⁽⁴⁾

RESUMO

A calagem altera algumas propriedades eletroquímicas em solos de carga variável e isso pode afetar a dispersão da argila e a estabilidade dos agregados. Essa hipótese foi avaliada por meio da aplicação de quantidades crescentes de calcário (0, 4,5, 9,0, 13,5 e 18,0 t ha⁻¹) num Latossolo Bruno (Haplohumox). O calcário foi aplicado em parcelas de campo e incorporado até 17 cm de profundidade, na primavera de 1992, e as amostras para as determinações deste estudo foram coletadas na primavera de 1997. Durante esse período, o solo foi cultivado com milho no verão e permaneceu em pousio no inverno. A calagem aumentou o ponto de efeito salino nulo, PESN ($R^2 = 0,85^*$), o potencial elétrico negativo superficial ($R^2 = 1,00^{**}$) e a argila dispersa em água ($R^2 = 0,93^{**}$), diminuiu os teores de matéria orgânica ($R^2 = 0,83^*$) e não afetou o diâmetro médio ponderado dos agregados. O aumento do PESN ocorreu, provavelmente, pela diminuição dos teores de matéria orgânica. A argila dispersa em água foi positivamente correlacionada com o potencial elétrico superficial ($R^2 = 0,93^{**}$) e o seu aumento deveu-se, provavelmente, a maior repulsão entre as partículas do solo em consequência do incremento das cargas negativas e da espessura da dupla camada elétrica difusa.

Termos de Indexação: solos de carga variável, calcário, agregação, dispersão.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1999 e aprovado em março de 2000.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UDESC. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia, UDESC. Bolsista de Iniciação Científica CNPq.

SUMMARY: *PHYSICAL AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF A BROWN LATOSOL AS AFFECTED BY LIMING*

*Liming influences some electrochemical properties of soils of variable charge that may affect clay dispersion and aggregate stability. This hypothesis was tested after five years of incorporation of increasing rates of limestone (0, 4.5, 9.0, 13.5 and 18 t ha⁻¹) into a Brown Latosol (Haplohumox). Dolomitic limestone was plowed down to 17 cm depth into the soil during the spring of 1992 when field plots began to be cultivated annually with continuous corn. Soil samples used in this work were collected in the spring of 1997. Liming increased the amount of clay dispersed in water ($R^2 = 0.93^{**}$), negative surface electric potential ($R^2 = 1.00^{**}$), point of zero salt effect PZSE ($R^2 = 0.85^*$) and slightly decreased soil organic matter ($R^2 = 0.83^*$), but had no effect on soil aggregate stability. The increase on PZSE was probably caused by the decrease of soil organic matter. Clay dispersion was positively associated with surface electric potential ($R^2 = 0.93^{**}$) and its increase was probably due to higher repulsive forces among soil particles as a consequence of either increases on CEC and on thickness of electric double layer.*

Index terms: variable charge soils, liming, soil aggregation, clay dispersion.

INTRODUÇÃO

A calagem é uma das práticas de manejo da fertilidade que mais aumenta o rendimento das culturas em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais. A elevação do pH do solo aumenta a disponibilidade de P (Ernani et al., 1996), favorece a atividade microbiana e diminui ou elimina a fitotoxidez do Al e do Mn (Ernani et al., 1998), com reflexos positivos na absorção de água e de nutrientes. Por outro lado, a calagem influi em algumas propriedades eletroquímicas em solos muito intemperizados, as quais poderão afetar algumas características físicas do solo.

A carga líquida negativa do solo e o potencial elétrico negativo superficial são as principais alterações eletroquímicas ocasionadas pela calagem em solos ácidos com predomínio de carga variável. O potencial elétrico superficial é proporcional à diferença entre o pH e o ponto de efeito salino nulo (PESN), o qual corresponde ao valor de pH onde a carga líquida variável é nula nas superfícies de carga variável (Parker et al., 1979; Sposito, 1989). O aumento da CTC e do potencial elétrico negativo superficial do solo é uma consequência da adsorção química de hidroxilas na superfície dos óxidos e hidróxidos, principalmente de ferro e alumínio, nas arestas quebradas da caulinita, e da ionização de grupamentos funcionais da matéria orgânica, dos quais os carboxílicos são os mais importantes (Uehara & Gillman, 1981; Schnitzer, 1986; Stevenson, 1994).

Essas alterações podem aumentar o grau de dispersão de argila (Morelli & Ferreira, 1987), diminuir a estabilidade de agregados e afetar outras propriedades físicas com elas relacionadas, como a taxa de infiltração de água e a concentração de argila

na enxurrada (Roth & Pavan, 1991; Fontes et al., 1995), o selamento superficial, a condutividade hidráulica e a suscetibilidade do solo à erosão (Castro Filho & Logan, 1991).

Os efeitos adversos da calagem sobre a estrutura do solo podem ser amenizados pela adsorção de cálcio e de magnésio, por meio de complexos de esfera interna (Sposito, 1989; Charlet & Sposito, 1989) e da conseqüente incorporação de cargas positivas às superfícies sólidas do solo, diminuindo com isso a carga líquida negativa, com reflexos no aumento do PESN. A alteração na espessura da dupla camada elétrica (DCE) do solo pode também influenciar os efeitos dispersivos da calagem, sendo a magnitude dessa alteração o resultado de efeitos antagônicos provocados pela calagem: o aumento das cargas elétricas negativas e a substituição de íons trivalentes por divalentes no complexo de troca, que tendem a aumentar a DCE, e, por outro lado, o aumento da força iônica da solução e da adsorção específica de Ca e Mg, que atuam no sentido inverso. Os efeitos dessas reações devem variar com o tipo de solo, principalmente com sua composição mineralógica.

O efeito da calagem sobre os teores de matéria orgânica do solo normalmente não é considerado em experimentos de laboratório, mas pode afetar o PESN, uma vez sabido que essas duas variáveis são inversamente relacionadas (Siqueira et al., 1990; Benites & Mendonça, 1998). As alterações na atividade biológica no solo podem afetar a estabilidade de agregados e outras características com ela relacionadas, aspecto que também não tem sido considerado em estudos de laboratório.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de quantidades crescentes de calcário nas propriedades eletroquímicas, na dispersão de argila

e na estabilidade de agregados de um Latossolo Bruno, em amostras de solo coletadas em um experimento de campo, cinco anos após a calagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com amostras de solo coletadas em experimento de campo, conduzido, a partir de 1992, num solo Latossolo Bruno (Haplohumox dolomitic), em Lages, SC (27° 48' S; 50° 19' W GR). O solo na instalação do experimento apresentava pH em água 4,7; 1 e 120 mg kg⁻¹ de P e K extraíveis, respectivamente; 3,3 cmol_c kg⁻¹ de Al trocável; saturação por Al de 56% e necessidade de calcário de 9,0 t ha⁻¹ para elevar o pH até 6,0 (Ernani et al., 1998). Segundo Koeppen, o clima da região é do tipo Cfb. A altitude média é de 937 m, com temperatura máxima média anual de 21,7°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.408 mm (Santa Catarina, 1986).

Nos quatro primeiros anos experimentais (1992 a 1995), o delineamento foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com dois sistemas de produção de milho (silagem e grãos) nas parcelas principais (30 x 5 m), ambos em preparo convencional, e cinco doses de calcário (0, 4,5, 9,0, 13,5 e 18 t ha⁻¹) com um poder de neutralização de 100%, nas subparcelas (5 x 6 m), e quatro repetições. O calcário foi aplicado na primavera de 1992 e incorporado até, aproximadamente, 17 cm de profundidade com duas arações e duas gradagens. No ano anterior à coleta das amostras de solo para esse estudo (1996), o sistema de produção de milho para silagem foi substituído por um sistema de produção de milho para grãos em plantio direto, mantendo-se o mesmo delineamento experimental e os demais tratamentos sem alteração.

As amostras de solo para o presente estudo foram coletadas em outubro de 1997, antes da semeadura do milho. Coletaram-se, manualmente, duas subamostras por tratamento, na profundidade de 0-10 cm, as quais foram misturadas. Parte da amostra foi seca em estufa a 60°C, moída, peneirada a 2 mm (TFSA), e nela determinaram-se os teores de carbono orgânico, Al, Ca, Mg e K trocáveis, pH em água, pH em solução de KCl 1 mol L⁻¹, condutividade elétrica, ponto de efeito salino nulo (PESN), argila dispersa em água, bem como o ΔpH (pH KCl – pH em água) (Mekaru & Uehara, 1972). O restante do solo foi seco ao ar e, posteriormente, foram separados os agregados entre 4,76 e 9,00 mm, os quais foram utilizados para determinação da estabilidade de agregados.

As análises químicas foram realizadas segundo métodos apresentados por Tedesco et al. (1995). A argila dispersa em água foi determinada pelo método da pipeta em amostras agitadas horizontalmente

durante três horas. A estabilidade de agregados foi determinada pelo método de Kemper & Chepil (1965), sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados. Calculou-se o PESN em amostras compostas de cada dose de calcário, obtidas a partir da mistura das subamostras dos dois sistemas de manejo e das quatro repetições. Para avaliar o PESN, em cada dose de calcário, foram pesadas 24 subamostras de 4 gramas de TFSA e colocadas em recipientes plásticos (EMBRAPA, 1997). Em um grupo de 12 subamostras, foram adicionados 10 ml de água e, no outro grupo, 10 ml de solução de NaCl 1 mol L⁻¹. Nas suspensões, em cada grupo, adicionaram-se 0, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10 ml de solução de HCl 1 mol L⁻¹ e 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 ml de solução de NaOH 1 mol L⁻¹, seguidos de agitação manual. O pH foi determinado 24 h após. O PESN correspondeu ao ponto de interseção das curvas de pH, em água e em solução de NaCl.

A partir dos valores de pH e PESN foi calculado o potencial elétrico superficial (Ψ₀), segundo Raij & Peech (1972), utilizando a equação simplificada de Nerst: Ψ₀ = 59,1 (PESN – pH), em mV.

A mineralogia da fração argila foi determinada por difração de raios-X, utilizando um equipamento Philips, equipado com radiação CuKα, monocromador de grafite, corrente do tubo de 30 Kv e 30 mA e velocidade do goniômetro de 2°2θ por minuto.

O efeito das doses de calcário sobre as variáveis foi avaliado por análise de regressão, a partir dos valores médios dos sistemas de manejo. Este procedimento foi adotado para evitar possível confundimento nos resultados pela inclusão, um ano antes da amostragem, do plantio direto e milho para produção de grãos em substituição ao sistema preparo convencional e silagem. A significância dos coeficientes de determinação foi testada a 1 e 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise mineralógica da fração argila demonstrou que a caulinita é o argilomineral predominante no solo. Em menor quantidade, ocorrem também argilominerais 2:1 com hidróxi-Al nas entrecamadas, gibbsita e goethita (dados não apresentados). É um solo, portanto, com predomínio de carga variável, dependente do pH.

A calagem aumentou linearmente o pH do solo de 5,0 para 7,0, os valores de Ca de 2,3 para 8,0 cmol_c kg⁻¹ e os de Mg de 1,7 para 6,8 cmol_c kg⁻¹, assim como eliminou o Al trocável a partir de doses iguais ou superiores a 9,0 t ha⁻¹ (Quadro 1).

O ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo, ou seja, o valor de pH, em que a carga líquida das superfícies com carga variável é nula, foi de 3,77. É um solo, portanto, que apresenta carga líquida negativa nas condições naturais, o que é confirmado

Quadro 1. Valores de matéria orgânica (MO), Ca, Mg e Al trocáveis, CTC, pH em água, delta pH (Δ pH), condutividade elétrica (CE) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), da camada de 0-10 cm de um Latossolo Bruno, considerando a aplicação de doses crescentes de calcário

Calcário	MO	Ca	Mg	Al	CTC	pH-H ₂ O	Δ pH	CE	DMP ⁽¹⁾
t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹						mS m ⁻¹	mm
0	55,5	2,31	1,72	2,35	6,38	5,0	-0,77	9,60	5,94
4,5	55,3	4,77	3,95	0,42	9,14	5,7	-1,09	7,85	6,06
9,0	52,4	6,12	5,18	0,0	11,3	6,0	-0,94	5,54	5,94
13,5	53,3	7,19	6,26	0,0	13,4	6,6	-0,66	6,92	5,98
18,0	50,1	8,00	6,82	0,0	14,8	7,0	-0,70	7,23	6,02

Δ pH = pH KCl - pH água.

⁽¹⁾ Regressões polinomiais de primeiro e segundo grau entre dose de calcário e DMP não-significativas a 1 e 5%.

pelos valores negativos do Δ pH (Quadro 1). O valor de PESN está dentro dos limites obtidos por Magalhães & Page (1984) em Latossolos (entre 3,6 e 4,6), semelhante ao da caulinita (4,6) (Sposito, 1989), e inferior aos da Goethita (6,4) e gibbsita (5,1) (Varadachari & Chattopadhyay, 1997). No horizonte A, entretanto, estes minerais apresentam, normalmente, valores menores de PESN do que no horizonte B em razão da adsorção química de compostos orgânicos e inorgânicos em suas superfícies (Siqueira et al., 1990).

A calagem aumentou linearmente o PESN do solo de 3,77, na ausência de calcário, para aproximadamente 4,30 pela aplicação de 18 t ha⁻¹ de calcário (Figura 1). Esse aumento deveu-se, provavelmente, à diminuição dos teores de matéria orgânica (Figura 2) e à adsorção específica de Ca e Mg (Charlet & Sposito, 1989). O teor de matéria orgânica do solo, após cinco anos de cultivo, diminuiu linearmente com o aumento das doses de calcário. Na testemunha, o teor de matéria orgânica foi de 56 g kg⁻¹, decrescendo para 50 g kg⁻¹ pela aplicação de 18 t ha⁻¹, com uma diminuição de 0,28 g kg⁻¹ por tonelada de calcário aplicada. Essa diminuição foi o resultado de condições mais propícias à atividade microbiana, fato também já observado por Azevedo et al. (1996). A diminuição dos teores de matéria orgânica pode ter influenciado de duas maneiras o aumento do PESN do solo: (a) pela diminuição do número de grupos carboxílicos, que são os principais responsáveis pelas cargas negativas da matéria orgânica (Schnitzer, 1986), cujos valores de pK estão entre 2 e 3 (Tate & Theng, 1980), e (b) pela diminuição na adsorção específica de ânions orgânicos (Oades et al., 1989). A adsorção específica de Ca e Mg, através de complexos de esfera interna, que ocorre com a elevação do pH, incorpora cargas positivas às superfícies sólidas do solo, diminuindo com isso a carga líquida negativa, com reflexos no aumento do PESN.

A aplicação de calcário aumentou o potencial elétrico negativo das partículas do solo, calculado pela equação simplificada de Nerst, de -73 para -159 mV (Figura 3). Esse incremento deveu-se ao aumento da carga líquida negativa, decorrente da adsorção química de hidroxilas na superfície dos óxidos e hidróxidos, principalmente de ferro e alumínio (Cornell & Schwertmann, 1996), nas arestas quebradas da caulinita (McBride, 1989), e à ionização de grupamentos funcionais da matéria orgânica, dos quais os carboxílicos são os mais importantes (Uehara & Gillman, 1981; Schnitzer, 1986; Stevenson, 1994).

A calagem aumentou linearmente a argila dispersa em água, que passou de 500 g kg⁻¹, na ausência de calcário, para aproximadamente 600 g kg⁻¹ pela aplicação de 18 t ha⁻¹ de calcário

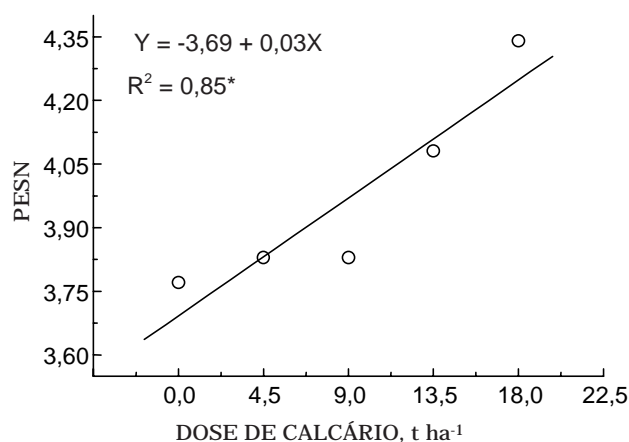


Figura 1. Relação entre as doses de calcário e o ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo.

* Significativo a 5%.

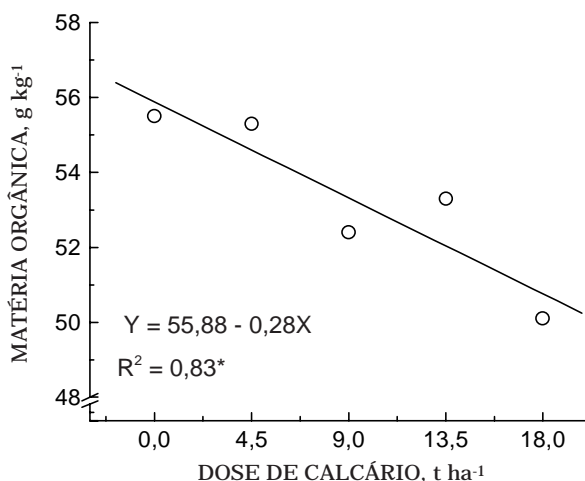


Figura 2. Teores de matéria orgânica na camada de 0-10 cm, considerando as doses de calcário aplicadas num Latossolo Bruno. * Significativo a 5%.

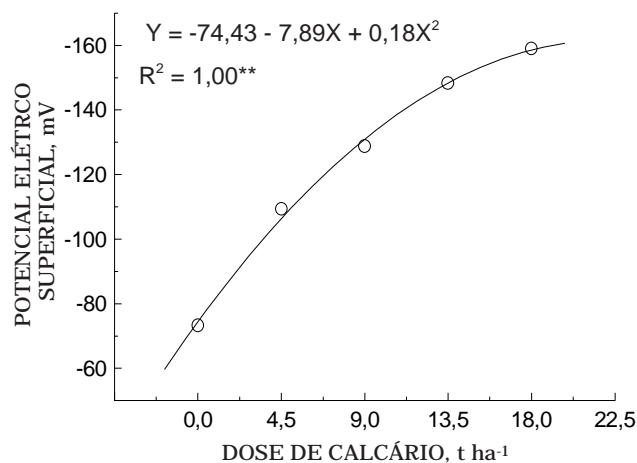


Figura 3. Relação entre as doses aplicadas de calcário e o potencial elétrico superficial. ** Significativo a 1%.

(Figura 4), decorrente da maior repulsão entre partículas do solo pelo aumento da carga líquida negativa e da espessura da dupla camada elétrica difusa, ocasionada pela substituição do Al pelo Ca e Mg (Fontes et al., 1995). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Roth & Pavan (1991) em Latossolo.

Por outro lado, Munner & Oades (1989a,b) observaram a diminuição da argila dispersa em água com a aplicação de CaCO_3 , porém em solos com predomínio de carga permanente. Nesta condição, o aumento de cargas negativas ocasionadas pela elevação do pH não é expressivo e, portanto, predomina o efeito do aumento da força iônica, o qual

diminui a espessura da dupla camada. No presente trabalho, a força iônica, expressa pela condutividade elétrica, não foi afetada pela calagem (Quadro 1), considerando, provavelmente, o pequeno aumento de íons na solução do solo, consequência do aumento na CTC e da migração dos ânions do calcário com os ácidos do solo.

A estabilidade de agregados, representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), não foi influenciada pela aplicação de calcário (Quadro 1). Aparentemente, a dispersão de argila, que poderia ter um efeito negativo na estabilidade dos micro-agregados e, em consequência, dos macroagregados, foi compensada por outro fator. É possível que o aumento da atividade microbiana, resultante da aplicação de calcário, inferida pela diminuição dos teores de matéria orgânica do solo (Figura 2), tenha contribuído para a manutenção da estabilidade de agregados do solo (Roth et al., 1986).

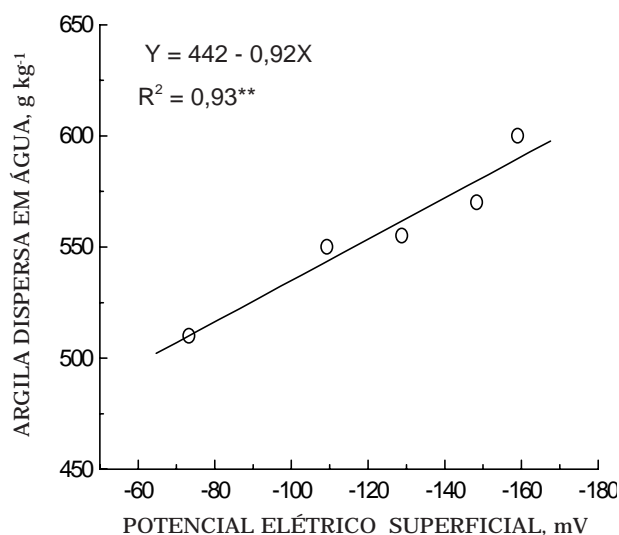


Figura 4. Relação entre o potencial elétrico superficial e a argila dispersa em água em um Latossolo Bruno submetido a doses crescentes de calcário. ** Significativo a 1%.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de quantidades crescentes de calcário a um Latossolo ácido aumentou o ponto de efeito salino nulo, o potencial elétrico negativo superficial e a carga elétrica negativa líquida, bem como diminuiu o teor de matéria orgânica do solo. Como consequência, aumentou a dispersão de argila, mas não afetou o diâmetro médio ponderado dos agregados.

LITERATURA CITADA

- AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N. & BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo bruno pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:191-198, 1996.
- BENITES, V.M. & MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 22:215-221, 1998.
- CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1407-1413, 1991.
- CHARLET, L. & SPOSITO, G. Bivalent ion adsorption by an Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:691-695, 1989.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. The iron oxides. New York, VCH Publishers, 1996. 573p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos - SNLCS, Manual e métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997.
- ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.A.R.; BECEGATO, V. & ALMEIDA, J.A. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. R. Bras. Ci. Solo, 20:159-162, 1996.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L. & OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. R. Bras. Ci. Solo, 22:275-280, 1998.
- FONTES, M.P.F.; GJORUP, G.B.; ALVARENGA, R.C. & NASCIF, P.G.S. Calcium salts and mechanical stress effects on water-dispersible clay of Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:224-227, 1995.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 1, Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy, Monograph, 9)
- MAGALHÃES, A.F. & PAGE, A.L. Características das cargas elétricas dos solos da zona da Mata de Pernambuco. I- Determinação das cargas de superfície. R. Bras. Ci. Solo, 8:173-177, 1984.
- McBRIDE, M.B. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of Agronomy, 1989. p.35-88.
- MEKARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:296-300, 1972.
- MORELLI, M. & FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. R. Bras. Ci. Solo, 11:1-6, 1987.
- MUNEER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. I. Laboratory studies with ^{14}C -glucose, CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Aust. J. Soil Res., 27:389-399, 1989a.
- MUNEER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ^{14}C -labelled straw. Aust. J. Soil Res., 27:401-409, 1989b.
- OADES, J.M.; GILLMAN, G.P. & UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, University of Hawaii, 1989. p.69-95.
- PARKER, J.C.; ZELAZNY, W.; SAMPATH, S. & HARRIS, W.G. A critical evaluation of the extension of zero point of charge (ZPC) theory to soil systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 43:668-674, 1979.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 36:587-593, 1972.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. & FREDE, H.G. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. R. Bras. Ci. Solo, 10:163-166, 1986.
- ROTH, C.H. & PAVAN, M.A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. Geoderma, 48:351-361, 1991.
- SANTA CATARINA, Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1986. 176p.
- SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M., eds. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, Soil Science Society of American, 1986. p.77-101.
- SIQUEIRA, C.; LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável. II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. R. Bras. Ci. Solo, 14:13-17, 1990.
- SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry- genesis, composition, reactions. New York, John Wiley, 1994. 496p.
- TATE, K.R. & THENG, B.K.G. Organic matter and its interaction with inorganic soil constituents. In: THENG, B.K.G., ed. Soils with variable charge. New Zealand, Society of Soil Science. 1980. p.225-249.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- UEHARA, G. & GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Boulder, Westview Press, 1981. 170p.
- VARADACHARI, C. & CHATTOPADHYAY, T. Complexation of humic substances with oxides of iron and aluminum. Soil Sci., 162:28-34, 1997.